2.1.5- اللزوجة (*Viscosity*):

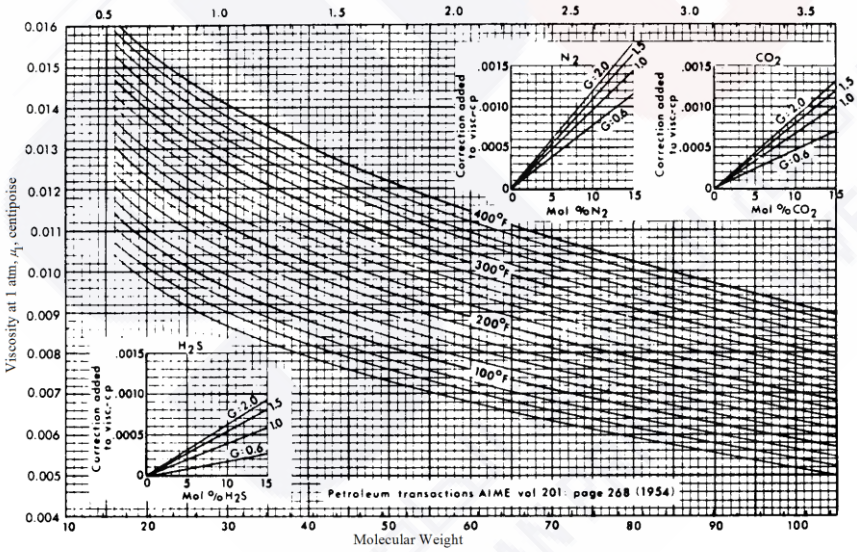
وهي الصفة أو الخاصية الفيزيائية المميزة للموائع الحقيقية بأنها تقاوم تغيير شكلها ويمكن تصنيفها إلى النوعين التاليين: اللزوجة التحريكية واللزوجة الحركية.

- **اللزوجة التحريكية أو الديناميكية** (*Dynamic viscosity*): وهي بالتعريف النسبة بين الإجهادات المماسية المؤثرة في نقطة ما من المائع (τ) وتدرج السرعة (dv/dy):

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dv}{dy}} \qquad (2.20)$$

- العوامل الرئيسية المؤثرة في اللزوجة الديناميكية:

1) **الكتلة المولية**: تتناقص قيمة اللزوجة الديناميكية بازدياد الكتلة المولية للغاز، كما هو مبين في الشكل (2.1).



الشكل (2.1)، علاقة اللزوجة الديناميكية بالكتلة المولية.

2) **الضغط:** تتزايد قيمة اللزوجة الديناميكية بازدياد قيمة الضغط مهما كانت قيمة درجة الحرارة.

3) **درجة الحرارة:** تتزايد قيمة اللزوجة الديناميكية بازدياد درجة الحرارة وذلك عندما لا تتجاوز قيمة الضغط ($70bar$)، ولكن عند الضغوط المرتفعة تتناقص قيمة هذه اللزوجة مع ارتفاع درجة الحرارة، وذلك في مجال درجات الحرارة الصغيرة وبعد ذلك تبقى ثابتة عملياً، كما هو موضح في الشكل (2.2).

وتعتبر طريقة استخدام العلاقات الرياضية من أكثر الطرق شيوعاً في حساب لزوجة الأمزجة الغازية، حيث يستلزم استخدام إحدى هذه العلاقات معرفة اللزوجة الديناميكية لكل عنصر من عناصر المزيج في شروط العمل، وبعد ذلك تُعيِّن اللزوجة الديناميكية للمزيج الغازي باستخدام علاقة (*Herning-Zipperer*):

$$\mu_{mix} = \frac{\sum \mu_i y_i \sqrt{M_i}}{\sum y_i \sqrt{M_i}} \qquad (2.21)$$

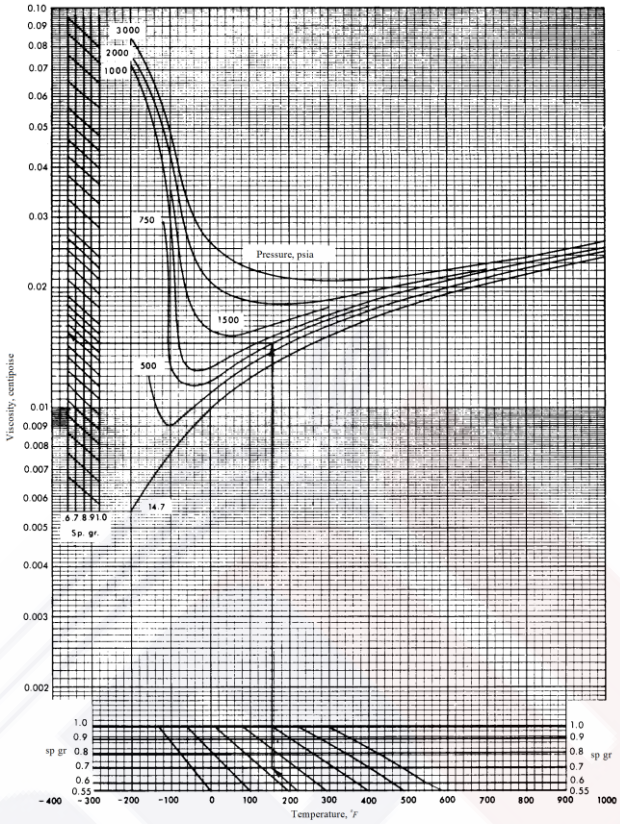
حيث إنَّ μ_i اللزوجة الديناميكية للعنصر الغازي i ويمكن تعيينها باستخدام علاقة (*Sutherland*):

$$\mu_i = \mu_N \frac{T_N + C}{T + C}\left(\frac{T}{T_N}\right)^{0.5} \qquad (2.22)$$

حيث إنَّ:

C: معامل *Sutherland*.

μ_N: اللزوجة الديناميكية للعنصر الغازي i في الشروط النظامية ويمكن معرفتها باستخدام بعض المنحنيات أو الجداول الخاصة، كما في الجدول (2.3).



الشكل (2.2)، تأثير درجة الحرارة والضغط على اللزوجة الديناميكية للغازات.

اسم العنصر	μ_N $[pa.s]$	اسم العنصر	μ_N $[pa.s]$
الميتان	$10,2\ 10^{-6}$	نظامي الهيبتان	$5,2\ 10^{-6}$
الإيتان	$8,5\ 10^{-6}$	نظامي الأوكتان	$5,0\ 10^{-6}$
البروبان	$7,5\ 10^{-6}$	كبريت الهيدروجين	$11,7\ 10^{-6}$
أيزوبوتان	$7,1\ 10^{-6}$	ثنائي اوكسيد الكربون	$13,7\ 10^{-6}$
نظامي البوتان	$7,0\ 10^{-6}$	الآزوت	$16,3\ 10^{-6}$
نظامي البنتان	$6,4\ 10^{-6}$	الهواء	$17,1\ 10^{-6}$
نظامي الهكسان	$5,9\ 10^{-6}$	الهليوم	$18,5\ 10^{-6}$

الجدول (2.3)، لزوجة بعض العناصر الغازية في الشروط النظامية.

يمكن أن نذكر أيضاً من الطرق الرياضية المستخدمة في تعيين لزوجة الأمزجة الغازية طريقة *Lee-Gonzales-Eakin* التي تعبر عن العلاقة بين لزوجة المزيج الغازي ودرجة الحرارة.

يعطي تطبيق العلاقات الرياضية السابقة نتائج مقبولة بالنسبة للأمزجة الغازية التي لاتحتوي على غازات غير هيدروكربونية أو تلك التي تحتوي على كميات ضئيلة من المركبات غير الهيدروكربونية، ولكن عند تعيين لزوجة الأمزجة الغازية التي تحتوي على نسب كبيرة من غازي CO_2 و H_2S ، يفضل استخدام طرق أخرى مثل طريقة *Dean-Stiel*.

- **اللزوجة الحركية أو الكينيماتيكية** (*Kinematic viscosity*): وهي النسبة بين اللزوجة الديناميكية للغاز وكثافته، أي:

$$\upsilon = \frac{\mu}{\rho} \qquad (2.23)$$

ويمكن تعيين اللزوجة الحركية للمزيج الغازي باستخدام العلاقة التالية:

$$\upsilon_{mix} = \frac{1}{\sum y_i / \upsilon_i} \qquad (2.24)$$

وعندئذ يمكن حساب اللزوجة الديناميكية للمزيج الغازي كمايلي:

$$\mu_{mix} = \rho_{mix} \cdot \upsilon_{mix} \qquad (2.25)$$